

**Е. В. Иванова, Н. А. Рыковский**  
**ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»**

**(г. Новосибирск, Россия)**

**В. В. Рыжаков**

**БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет»**

**(г. Сургут, Россия)**

## **ПРОБЛЕМЫ АДАПТАЦИИ СЕТЕВОЙ АВТОМАТИКИ И РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ К УСЛОВИЯМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СЕТИ**

Повышение эффективности функционирования электроэнергетики региона в значительной мере достигается совершенствованием диспетчерского и технологического управления режимами электроэнергетических систем (ЭЭС) на базе новых информационных технологий и вычислительных средств. Важной и неотъемлемой частью технологического управления ЭЭС является управление качеством электроснабжения (УКЭС), в котором понятие «качество электроснабжения» объединяет в себе две обширные проблемы: обеспечение ЭМС технических средств и бесперебойности (надёжности) электроснабжения [1].

Сегодня актуальность проблемы УКЭС заключается в необходимости развития методологии многоцелевой оптимизации (МО) и создания на этой основе сложных алгоритмических моделей в составе технологических автоматизированных систем управления (АСУ) ЭЭС (АСДУ – автоматизированная система диспетчерского управления, АСКУЭ – автоматизированная система контроля и учёта электроэнергии, АСУКЭ – автоматизированная система управления качеством электроснабжения и др.). Разработка адаптивных моделей УКЭС нуждается в развитии теории проектирования сложных системных объектов с использованием искусственного интеллекта в виде специализированных систем обучения, экспертных систем, различных программных и аппаратных средств. Создание этих систем с учётом кибернетических свойств ЭЭС нуждается в обеспечении ЭМС существующих систем релейной защиты и сетевой автоматики (УРЗА) [1,2].

В связи с этим первоначальным этапом решения затронутых задач является объективная оценка электромагнитной обстановки (ЭМО), методов испытаний технических средств и существующих мероприятий, обеспечивающих электромагнитную совместимость (ЭМС) технических средств в сетях собственных нужд электростанций и подстанций, питающих УРЗА.

**Электромагнитная обстановка.** В настоящее время не менее 40% всех УРЗА в отдельных электроэнергетических системах проработали более 25 лет. Количество таких устройств возрастает ежегодно на 2,5-4%. Трудозатраты на их обслуживание постоянно повышаются, а надёжность уменьшается и не отвечает предъявляемым требованиям. В создавшейся ситуации необходимы срочная реконструкция и перевооружение УРЗА. Возникает ряд серьёзных проблем [3], одной из которых является обеспечение электромагнитной совместимости УРЗА с энергетическими объектами. Эта проблема обостряется тем, что при перевооружении и вводе новых объектов используются не только электромеханические, но и полупроводниковые и микропроцессорные (МП) устройства, многие из которых (особенно МП) на несколько порядков более чувствительны к электромагнитным помехам, чем электромеханические УРЗА, а ведь последние тоже реагируют на эти помехи и даже иногда ложно срабатывают (основная причина – появление погрешностей в работе ферромагнитных элементов). В самой передовой энергосистеме России – «Мосэнерго» (по официальным данным) на неправильную работу УРЗА из-за проблем ЭМС приходится более 15% всех случаев такой работы [4], хотя МП и полупроводниковых устройств РЗА здесь приблизительно 3-4%.

Для решения задач ЭМС в условиях техперевооружения энергообъектов во-первых необходимо как можно более точно определить электромагнитную обстановку в месте установки устройства и его помехоустойчивость, а во-вторых привести их в соответствие путём разработки и осуществления защитных мероприятий.

В конечном итоге все сводится к борьбе с электромагнитными помехами. Помехи проникают к устройствам РЗА и их исполнительным органам (приводам выключателей) через кабели, прокладываемые внутри помещений и на территории подстанций. Они возникают при ударах молнии в молниеотводы и мачты грозозащиты, при срабатывании высоковольтных разрядников и ограничителей перенапряжений, при коротких замыканиях (КЗ) на напряжении 110-750 кВ (в том числе и удалённых), коммутациях на сторонах высокого и низкого напряжения и в оперативных цепях, при работе сварки, электромеханических реле, бытовых приборов и портативных раций, включении и отключении контакторов. В первых трёх случаях могут возникать значительные разности потенциалов, как между заземлёнными агрегатами, так и точками на поверхности грунта. При ударах молнии и наличии дефектов заземляющих устройств они иногда могут превысить 100 кВ и привести к выходу из работы устройства РЗА и катастрофическим последствиям. В [3] описаны последствия ударов молний в молниеотводы энергообъектов России и США практически с одинаковыми последствиями.

Сейчас методика для оценки ЭМО [5] прошла апробацию, суть которой сводится к следующему.

1 Получают исходные данные для проведения работ, изучают расположение первичных цепей, заземлений, молниезащиты, типы УРЗА, АСУ-ТП, соединительных кабелей и трассы их прокладки. Для этого используют техническую документацию, которая является основной для разработки рабочей программы проведения исследований ЭМО. Рабочая программа – это план экспериментально-расчётного обследования энергообъекта по определению уровня помех в цепях РЗА в самых неблагоприятных, но реальных аварийных режимах.

2 Определяют ЭМО на объекте. Для этого:

а) измеряют электромагнитное поле промышленной частоты, поля частотного диапазона, импульсных полей в цепях постоянного тока, высокочастотную составляющую тока шин и кабелей высокого напряжения, их ёмкость относительно земли, входные параметры УРЗА (особое внимание уделяют МП устройствам);

б) имитируют основные виды электромагнитных возмущений, используя программу Interference, по которой рассчитывают реальные токи КЗ, определяют наиболее опасные виды коммутаций и помехи, наводимые ударами молний. Для изучения влияния КЗ на землю измеряют (например, комплексом ИК-1) потенциал в месте КЗ и токовую нагрузку на экраны кабеля. Установлено, что при этом возможны повышения потенциала заземляющих устройств, приводящие к повреждению изоляции проходящих поблизости кабелей вторичных цепей и даже разрушению их оболочки из-за того, что токи однофазного КЗ на подстанции оказываются больше допустимых. Возможно выгорание контактов, разрушение оболочки экранов или жил кабеля или перекрытие изоляции между кабелями. Поэтому особое внимание надо обращать на цепи, имеющие непосредственную связь с распредустройством (РУ) высокого напряжения;

в) моделируют высококачественные (ВЧ) составляющие тока КЗ (например, с помощью генератора высокочастотных импульсов ГВЧИ-4П), которые возникают в цепи высокого напряжения во время разряда ёмкостей кабелей и другого оборудования при КЗ. Измеряют помехи на клеммах УРЗА и контрольных кабелей (генератор подключают к земле и оборудованию на открытом РУ, связанному с кабелями с указанными клеммами). Определяют импульсные помехи (часто называемые полевыми), возникающие в кабелях вторичных цепей от взаимодействия ВЧ токов, протекающих по ошиновке, с этими кабелями (вызванные резким изменением напряжения на шинах РУ при КЗ и коммутациями первичного оборудования). Для измерений по трассе вторичных цепей на высоте 1 метр от земли прокладывается контрольный провод, к которому и подключается ГВЧИ, затем данные всех перечисленных измерений приводят к реальным токам КЗ по программе Interference. С помощью этой же

программы определяют помехи, вызванные ударами молний: перекрытие с земли на кабели, измеряют распределение потенциала на земле, проводят расчёты по программе «СТОК» [5]. Для расчёта используют параметры тока молнии, рекомендуемые Международной электротехнической комиссией (МЭК);

г) измеряют поля радиочастотных диапазонов от 1 до 1000 МГц, а также поля от стационарных и переносных радиопередатчиков, которые есть на энергообъекте, магнитные поля частотой 50 Гц в местах установки терминалов в нормальных режимах (например, при пуске электродвигателей). В аварийных режимах их рассчитывают. Измеряют помехи, вызванные возмущениями в цепях питания низкого напряжения. Оценивают разряды статического электричества на основе измерения напряжения на операторе и покрытии пола (зафиксированы случаи заряда оператора до 15 кВ).

**Техническая документация и методы испытаний.** Одновременно с оценкой ЭМО анализируют техническую документацию на аппаратуру, которая будет устанавливаться на объекте, особенно тщательно на МП устройства. В этой документации обязательно должна быть указана степень жёсткости и номенклатура видов испытаний (выполненных фирмой-изготовителем) по нормам МЭК и ГОСТ на устойчивость к воздействию электромагнитных помех. Анализ должен заканчиваться выводами об адекватности этой номенклатуры реальным воздействиям, обнаруженным при анализе ЭМО, и, в случае необходимости, рекомендациями по дополнительным видам испытаний. Устойчивость к помехам должна соответствовать требованию ГОСТа, в России гостится до 15 видов помех. Эти требования включают в себя виды и степень жёсткости испытаний, критерии качества функционирования при них, класс жёсткости ЭМО в помещениях для размещения МП РЗА, группу исполнения по устойчивости к помехам (4 группы).

Методы испытаний приводятся в базовых стандартах на каждый вид помех. По требованиям устойчивости к помехам МП УРЗА должны испытываться в следующих режимах – дежурном, обработки сигналов в аварийном режиме и послеаварийном режиме. Во время испытаний нужно моделировать сигналы соответствующие этим режимам. Надо иметь современное оборудование, которое позволяет выполнять испытания в соответствии с требованиями 19 стандартов МЭК, EN и ГОСТ [3].

**Мероприятия, обеспечивающие ЭМС.** После сопоставления результатов анализа ЭМО с воздействиями, которые осуществляли при испытаниях РЗА сторонние организации или фирмы изготовители, делаются выводы о ЭМС. Затем указываются мероприятия, обеспечивающие ЭМС [3]. Эти мероприятия в России, как правило, включают осуществление предложений по совершенствованию системы защиты от молний, трасс прокладки кабелей и их экранированию и заземлению экранов, методов и средств ограничения перенапряжений во вторичных цепях, цепях управления выключателями ВН и т.д., по устранению опасного электромагнитного излучения от автономных радиопередатчиков и ослаблению интенсивности источников статического электричества.

Из мероприятий, обеспечивающих ЭМС, выделим выполнение заземляющих устройств, так как ЭМС в значительной мере определяется качественным состоянием молниезащиты и заземляющих контуров. Здесь можно рекомендовать дополнительную прокладку тоководов для зданий, усиление заземлений и применение зонной концепции в соответствии с указаниями МЭК 61312.

Таким образом, реконструкция, перевооружения и введение новых объектов электроэнергетики невозможны без решения вопросов ЭМС устройств РЗА. Начинать надо с выяснения электромагнитной обстановки и уже в проекте указывать меры по приведению её в соответствие с помехоустойчивостью УРЗА, обращая особое внимание на молниезащиту и заземляющие контуры. Без решения проблемы ЭМС

УРЗА невозможно создать активно-адаптивную систему в ЭЭС. Это объективное условие инновационного развития электроэнергетики на базе концепции Smart Grid.

#### Список использованных источников

1. Пантелеев, В.И. Многоцелевая оптимизация и автоматизированное проектирование управления качеством электроснабжения в электроэнергетических системах: монография / В.И.Пантелеев, Л.Ф.Поддубных. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2009. – 194 с.
2. Денчик, Ю.М. Повышение качества функционирования линий электропередачи / Ю.М.Денчик, М.Н.Иванов, Г.А.Данилов, Г.В.Ситников; под ред. В.П.Горелова, В.Г.Сальникова. – Новосибирск: НГАВТ, 2013. – 559 с.
3. Клецель, М.Я. Проблемы релейной защиты и автоматики энергосистем / М.Я.Клецель // Вестник союза инженеров энергетиков. – Алматы, 2003. – № 1. – С 4-6.
4. Иванова, Е.В. Электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е.В.Иванова; под ред. В.П.Горелова и Н.Н.Лизалека. – Новосибирск: НГАВТ, 2006. – 432 с.
5. Арцишевский, Я.Л. Мероприятия по обеспечению ЭМС микропроцессорных устройств РЗА при техпереворужении действующих энергообъектов / Я.Л.Арцишевский [и др.] / Сборник докладов XV научно-технической конференции по релейной защите и автоматики энергосистем. – Москва, 2002. – С. 162-163.